ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 9

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 9

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ISSIQLIK ENERGIYASI SAQLASH USULLARI VA QURILMALARI TAHLILI

Jo‘rayev R.R.
Toshkent davlat texnika universiteti Tadqiqodchi
Abdullayev N.A.
Toshkent davlat texnika universiteti PhD
E-mail: Nodirbek_9204@mail.ru

Annotatsiya. Issiqlik energiyasini saqlash qurilmalari (IESQ) —issiqlik energiyasini saqlovchi muhitni (moddani) isitish yoki sovitish orqali issiqlik energiyani yig‘ish, saqlangan energiyani keyinchalik isitish yoki sovitish tizimlarida qo‘llash imkonini beradi. IESQ tizimlari asosan binolarda va sanoat jarayonlarida keng qo‘llaniladi. Maqolada quyosh issiqligidan samarali foydalanish va binolarning energiya talabini kamaytirishga xizmat qiluvchi IESQ texnologiyalariga o‘rganilgan. Unda turli issiqlik energiyasini saqlash usullari, ularning asosiy prinsiplari va saqlash sig‘imini hisoblash usullari bayon etilgan.

Kalit so‘zlar: saqlash tizimi; faza o‘zgaruvchi materiallar; kimyoviy saqlash; sovuq saqlash; samaradorlik.

Аннотация. Устройства аккумулирования тепловой энергии (УАТЭ) позволяют накапливать тепловую энергию путем нагрева или охлаждения теплоаккумулирующей среды (вещества), в дальнейшем использовать накопленную энергию в системах отопления и охлаждения. Системы УАТЭ широко применяются в зданиях и промышленных процессах. В статье исследованы технологии аккумулирования тепловой энергии, направленные на эффективное использование солнечного тепла и снижение энергетических потребностей зданий. Рассмотрены различные методы аккумулирования тепловой энергии, их основные принципы и методы расчета емкости хранения тепловой энергии.

Ключевые слова: система хранения; фазоизменяющиеся материалы; химическое хранение; хранение холода; эффективность.

Abstract. Thermal Energy Storage (TES) systems enable the accumulation of thermal energy by heating or cooling a heat storage medium (material), allowing the stored energy to be subsequently used in heating and cooling systems. TES systems are widely applied in buildings and industrial processes. This article investigates thermal energy storage technologies aimed at the efficient utilization of solar heat and the reduction of building energy demand. Various thermal energy storage methods, their main principles, and methods for calculating thermal energy storage capacity are discussed.

Keywords: storage system; phase change materials; chemical storage; cold storage; efficiency.

KIRISH.

So‘nggi o‘rganishlarga ko‘ra, 2040 yilga borib birlamchi energiya iste’moli 48 foizga ortishi [1], shu bilan birga, qazilma yoqilg‘ilar zaxiralarining kamayib borishi hamda ularning atrof-muhitga salbiy ta’siri qayta tiklanuvchi energiya manbalarini keng ko‘lamda tadbiq etilishini jadallashtiradi. Quyosh energiyasi, okean to‘lqinlari, shamol va biogaz kabi qayta tiklanuvchi energiya manbalari tabiiy muvozanatni saqlash va aholining energiyaga bo‘lgan ehtiyojlarini qondirishda muhim rol o‘ynamoqda [2].

Biroq, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini doimiy mavjud emasligi, sutka va fasllar davomida bir hil miqdorda emasligi, ulardan uzluksiz va keng miqyosda foydalanish imkoniyatini qisqartiradi. Shu sababdan, bunday manbalardan olingan energiyani, ehtiyojga ko‘ra kelgusida foydalanish uchun ular mavjud bo‘lgan vaqtlarda yeg‘ish va saqlash masalasi dolzarb bo‘lib qolmoqda [3]. Bu esa, o‘z navbatida energiyani saqlashning samarali usullarini ishlab chiqish zaruratini yuzaga keltirdi. Qayta tiklanuvchi energiya manbalarida ishlab chiqarilgan energiya asosan ikki hil, elektr va issiqlik (sovuqlik), ko‘rinishda yeg‘iladi va saqlanadi. Maqolada faqatgina issiqlik energiyasini saqlash masalalari o‘rganiladi.

Energiyani yeg‘uvchi va saqlovchi qurilmalar qayta tiklanuvchi energiya texnologiyalari tizimining muhim qismiga aylanib bormoqda. Ayniqsa IESQ tizimlari binolarda va sanoat jarayonlarida keng qo‘llaniladi. Bunda, IESQning issiqlik zichligi muhim ko‘rsatkich bo‘lib, birlik hajm/massada qancha miqdorda issiqlik energiyasi saqlanishini tavsiflovchi kattalikdir. IESQda energiyani saqlash moddalarning harorati yoki faza o‘zgarish jarayonlarida ulardan ajraladigan yoki yutiladigan issiqlik energiyasiga asoslangan. Kimyoviy toza 1 kilogram suvning haroratini narmal sharoitda (0 ˚C va 101325 Pa) 1 ˚C ga oshirish uchun 4,187 kJ energiya sarflansa, huddi shu sharoitda va miqdordagi suv muzini eritish uchun 334 kJ issiqlik energiyasi sarflanadi. Ko‘rinib turibtiki, ayni teng miqdordagi va sharoit ostidagi moddaning fazasini (agregat holatini) o‘zgarishida sarflanadigan energiya miqdori shu moddaning haroratini oshirishga sarflanadigan energiyaga miqdoriga nisbatan deyarli 80 martda ziyodroq. Demak, IESQda moddalarning erish issiqligidan foydalangan holda energiya saqlansa, qurilmaning issiqlik zichligi ko‘rsatkichi yuqori bo‘lishi ta’minlanadi.

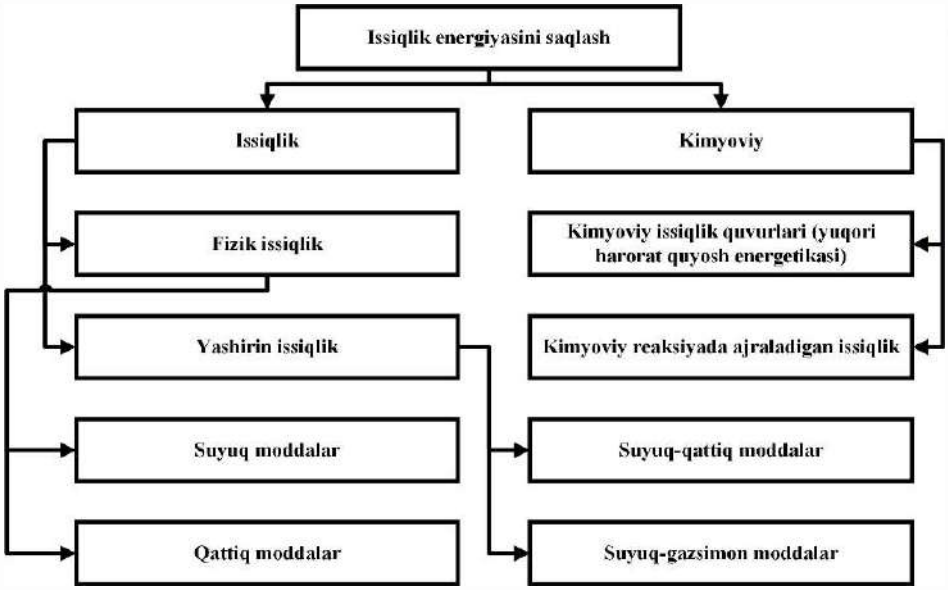
MAVJUD QURILMALAR VA USULLAR TAHLILI.

IESQning ishlash prinsipiga ko‘ra asosiy turlari 1-rasmda keltirilgan. Energiya saqlash qurilmalarining xususiyatlar quyidagicha tavsiflash mumkin [4]:

Sig‘im – qurilmada saqlanadigan issiqlik energiyasini miqdorini ifodalaydi;

ISSN 3030-3907

Quvvat – qurilmada yeg‘ilgan issiqlik energiyasi qanchalik tez iste’mol bo‘lishini ifodalaydi;
Samaradorlik iste’molga uzatilgan issiqlik energiyasining shu energiyani saqlash uchun yeg‘ilgan to‘liq energiyaga nisbati;
Saqlash davomiyligi – yig‘ilgan issiqlik energiyasi qurilmada saqlanib turish muddati;
Issiqlik zichligi – birlik hajm yoki massada saqlanadigan energiya miqdori;
Solishtirma narxi – birlik quvvatni olish uchun qurilmaga sarflanga investitsiya miqdori;



1-rasm. IESQ turlari

Quvvat, sig‘im, samaradorlik, saqlash davomiyligi va solishtirma narx ko‘rsatkichlari o‘zaro bog‘liq o‘zgaruvchilar bo‘lib, yuqori issiqlik zichligi va sig‘im ular orasida muhimilari hisoblnadi. Quyida ishlash prinsipiga ko‘ra qurilmalarning asosiy ko‘rsatkich ma’lumotlari keltirilgan [5].

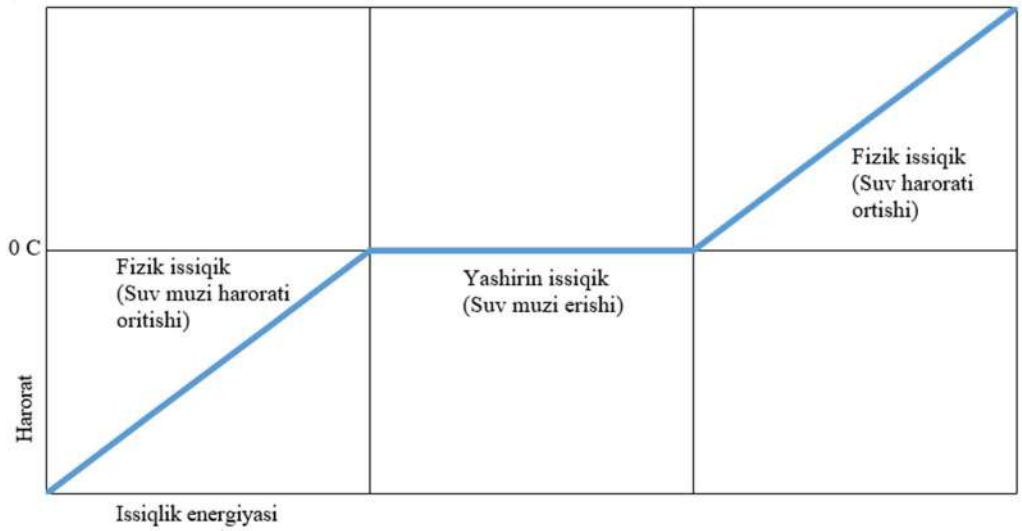
1-jadval

IESQning asosiy ko‘rsatkichlari

Qurilma turi	Issiqlik zichligi, kVts/tonna	Quvvat, MVt	Samaradorlik, %	Saqlash davomiyligi	Solishtirma narx, $/kVts
Fizik issiqlik	10-50	0,001-10	50-90	Kun/oy	0,1-10
Yashirin issiqlik	50-150	0,001-1	75-90	Soat/oy	10-50
Kimyoviy	120-150	0,01-1	75-100	Soat/kun	8-100

ISSN 3030-3907

Moddalarning fizik issiqligi ularning solishtirma issiqlik sig‘imi koeffitsientiga bog‘liq bo‘lsa, yashirin issiqligi esa ularning solishtirma erish/bug‘lanish koeffitsientiga bog‘liq. Normal sharoitda ma’lum miqdordagi suv muzi 0 C haroratgacha qizdirilganda, unga berilgan issiqlik energiyasi faqatgina uning haroratini ortishi uchun sarflanib, harorati 0 C yetganda, berilgan issiqlik suv muzini harorati o‘zgarmagan holda, erishi uchun sarflanadi. Issiqlik energiyasini berish jarayoni davom etirilsa, uning harorati faqatgina suv muzi to‘liq erigandan so‘ng, suvning harorati ortishiga sarflanadi (2-rasm).



2-rasm. Suv muzining harorati ortishi, erishi va suvning harorati ortishida issiqlik energiyasi va haroratning bog‘liqlik diagrammasi.

Fizik issiqlik

Moddalarning solishtirma issiqlik sig‘imiga asoslangan IESQ tuzilishi va ishlash prinsipi sodda ko‘rinishga ega bo‘lib, u moddalarni (suv, qum, tosh va boshqalar) isitish yoki sovutish orqali energiyani saqlash hisobiga amalga oshadi (2-rasm. Suv harorati ortishi). Suv mazkur turdagi qurilmalarda issiqlik energiyasini saqlash uchun eng keng tarqalgan modda bo‘lib, u turar-joy va sanoat sohalarida keng qo‘llanadi. Bunday qurilmalarda, saqlanadigan issiqlik miqdori moddaning solishtirma issiqlik sig‘imi koeffitsienti, modda miqdori hamda haroratlar farqiga bog‘liq [6].

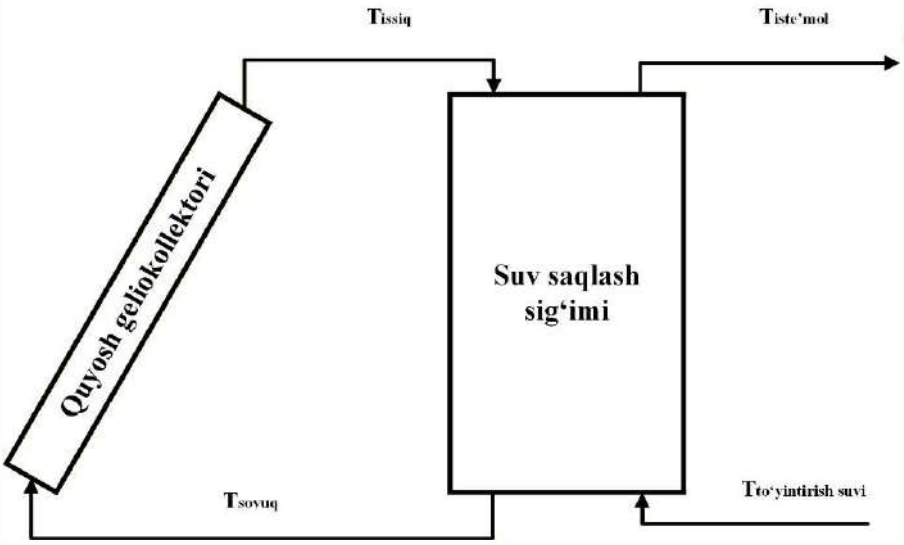
$$Q_s = \int_{t_i}^{t_f} mc_p dt = mc_p(t_f - t_i)$$

Bu yerda Q_s yeg‘ilgan issiqlik miqdori, Joul, m issiqlik saqlovchi moddaning massasi, kg, c_p solishtirma issiqlik koeffitsienti, Joul/kgC, t_i va t_f mos ravishda moddaning boshlang‘ich va so‘ngi haroratlari.

Suv sig‘imlari. Fizik issiqlik energiyasini saqlashda suv eng keng tarqalgan modda hisoblanig, issiq suvni saqlash sig‘imlari amaliyotda ko‘plab joriy etilgan [7]. Mavjud adabiyotlarda suv saqlash sig‘imlari narx va energetik

ISSN 3030-3907

samaradorligi jihatidan yuqori ko‘rsatkichga ega ekanligi hamda sig‘im ichida suvning haroratlar kesimida tabaqalanishini (stratifikatsiya) va sig‘im issiqlik himoyasini yaxshilash orqali samaradorligini yanada yaxshilash mumkin ekanligi ko‘rsatilgan [8]. Quyida (3-rasm) quyosh suv isitish (geliokollektor) tizimiga o‘rnatilgan suv saqlash sig‘imi chizmasi keltirilgan [4].



3-rasm. Suv saqlash qurilmasining namunaviy ko‘rinishi.

Quyosh suv isitish tizimlarida suv saqlash sig‘imi bir vaqitning o‘zida ikki vazifani bajaradi: tizimning quyosh kollektor qismi va iste’molchi qismidagi issiqlik tashuvchi suyuqliklarning o‘zaro aralishib ketishi olidini olish uchun issiqlik almashtirgich hamda sutkaning tun qismida ham issiq suv bilan iste’molchini ta’minlash maqsadida issiqli suv akkumulyatori.

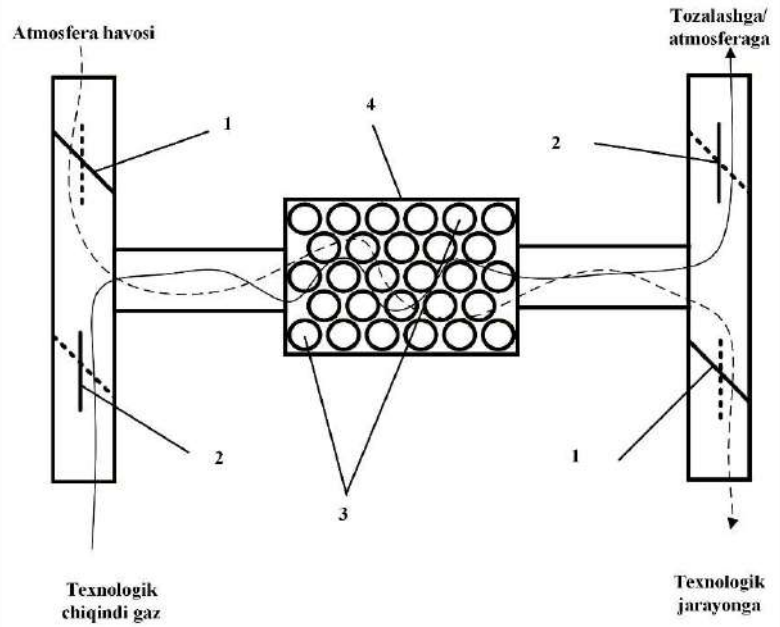
Sutkaning quyosh energiyasi mavjud vaqtlarida quyosh kollektorida qizigan issiqlik tashuvchi suyuqlik, issiqlik energiyasini issiqlik almashtirshich orqali sig‘im ishichidagi suvga berib soviydi va kollektroga qaytib keladi. Kun davomida mazkur jarayon takrorlanib, sutkaning tun qismida iste’molchiga issiq suv yetkazib berish uchun sig‘imda issiq suvni yeg‘adi. Qurilmada yeg‘ilgan issiqlik energiyasi miqdori sig‘imning butun hajmi bo‘ylab harorat bir hil bo‘lganda aniqlash tenglamasi:

$$Q_s = mc_p(t_f - t_i)$$

Issiqlik saqlash yostiqi. Issiqlik saqlash yostiqi qurilmasida odatda erkin joylashtirilgan mayda shat shaklidagi qattiq jisimlar o‘zlarida issiqlik energiyasini yeg‘adi. Asosan keramika mahsuloti, yer-tog‘ jismlari va boshqa qattiq moddalardan tashkil topgan sig‘imga issiq gazlar (texnologik jarayon mahsuloti) beriladi. Gazlar qattiq jismlar orasidan o‘tib o‘z issiqligini uzatib, moddalarning haroratini ortishiga sabab bo‘ladi. Ma’lum vaqtdan so‘ng, mazkur qattiq jismlar orasidan isitilishi kerak bo‘gan gazslar o‘tkazilib, jismlardan issiqlik olinadi va ularning harorati tushishiga sabab bo‘ladi.

ISSN 3030-3907

Quyida 4-rasmda issiqlik saqlash yostiqi sxemasi ko‘rsatilgan. Texnologik jarayonlarda ajralgan yuqori haroratga ega chiqindi gazlar ma’lum vaqt davomida ochiq holadagi shiberlar 2 orqali atmosferaga chiqarib yuboriladi. Shu vaqt mobaynida chiqindi gazlar o‘z issiqlik energiyasini qattiq jisimlarga 4 berib ularning haroratini ortishiga sabab bo‘ladi. Jisimlarning harorati kerakli darajaga yetganda, shiberlar 2 yopiq holatga keltirilib, atmosferadan texnologik jarayon uchun havo, ochiq holatga keltirilgan shiberlar 1 orqali uzatiladi. Bunda atmosfera havosi avval isitilgan jisimlar orasidan o‘tib, ularning isiqligini oladi va ularning haroratini tushishiga sabab boladi.



4-rasm. Issiqlik saqlash yostiqi prinsipial sxemasi

Ushbu yo‘nalishda ko‘plab ilmiy tadqiqotlar o‘tkazilgan bo‘lib, ulardan dastlabkisi Schumann [9] tomonidan bajarilgan. Mazkur ishda qabul qilingan modelda bir o‘lchamli issiqlik oqimi, o‘zgarmas fizik kattaliklar, massa almashinuvi, atrof muhitga issiqlik almashinuvi hamda harorat gredienti mavjud emas deb chegaralar qabul qilingan holda quyidagi differensial teglama ishlab chiqilgan.

$$\rho_f c_{p,f} \varepsilon \frac{dt_f}{d\tau} = -\frac{m_f c_{p,f}}{A} \frac{dt_f}{dx} + k_v(t_b - t_f)$$

Bu yerda ρ_f suyuqlik zichligi, $c_{p,f}$ suyuqlikning solishtirma issiqlik sig‘imi koeffitsenti, m_f suyuqlik massasi, A qattiq jisimlar ko‘ngdalang kesimi yuzasi, ε qattiq jismlarning umumiy hajmini shu jismlar joylashtirilgan sig‘imning to‘liq hajmiga nisbati.

Yakka tartibdagi yashash binosining isitish tizimiga tadbiq qilingan issiq yostiqli saqlash qurilmasida keramik g‘ishtdan foydalanildi [10]. Issiqlik manbasi sifatida quyosh konsentrik isitish qurilmasi, issiqlik tashuvchi havo hamda issiqlik saqlovchi qattiq jism esa keramik g‘ishtdan tashkil topgan tizimning tajriba

ISSN 3030-3907

o‘tkazilgan vaqtda, issiqik tashuvchi havo oqimi sarfi 0,005 m^3/sekund bo‘lganda samaradorligi 72-93 foizni tashkil etdi.

Yashirin issiqlik

Yashirin issiqlik energiyasi faza o‘zgaruvchan moddalar sifatida yaxshi ma’lum bo‘lib, moddalarning erishi va qotishidagi ulardan ajraladigan va yutiladigan issiqlik energiyasiga asoslangan. Bunday moddalarning asosiy avzalliklari, ularning erish va qotish jarayonida ajralgan issiqlik miqdori ularning fizik issiqlikka nisbatan bir necha martda ko‘proq hamda mazkur jarayonlar deyarli izotermik ya’ni o‘zgarmas harorat ostida boradi (2-rasm. Suv muzi erishi). Faza o‘zgaruvchan moddalardan tashkil topgan IESQning Q_s issiqlik energiyasini saqlash sig‘imi quyidagi tenglama orqali aniqlaniladi [11].

$$Q_s = \int_{t_i}^{t_m} mc_{ps}dt + mf\Delta q + \int_{t_m}^{t_f} mc_{pl}dt$$

Bu yerda t_m moddaning erish harorati, m – moddaning massasi, c_{ps} qattiq holdagi moddaning t_i dan t_m gacha o‘rtacha solishtirma issiqlik sig‘imi, c_{pl} erigan moddaning t_m dan t_f gacha haroratda o‘rtacha solishtirma issiqlik sig‘imi, f moddaning erigan qismi, Δq moddaning solishtirma erish issiqligi.

Kichik hajmdagi issiqlik oqimi uzinligi L, ko‘ngdalang kesimi yuzasi A va namlanganlik paramatri P bo‘lgan IESQlarga tadbiq qilish mumkin bo‘lgan madel yaratilgan [37]. Issiqlik tashuvchi suyuqlik m sarf hamda t_i boshlang‘ich harorat bilan x yo‘nalishda harakatlanganda, issiqlik balansi quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{du}{d\tau} = \frac{\lambda_s}{\rho_s}\frac{d^2t_s}{dx^2} + \frac{UP}{\rho_s A}(t_f - t_s)$$

Bu yerda u, t_s, λ_s, va ρ_s mos ravishda FO‘Mning solishtirma ishki energiyasi, harorati, issiqlik o‘tkazuvchanligi va zichligi bo‘lsa, t_f va U issiqlik tashuvchi suyuqlikning harorati va FO‘M va suyuqlik orasida issiqlik almashinuvi koeffitsienti, τ vaqt.

Suyuqlikdagi issiqlik balansi quyidagicha:

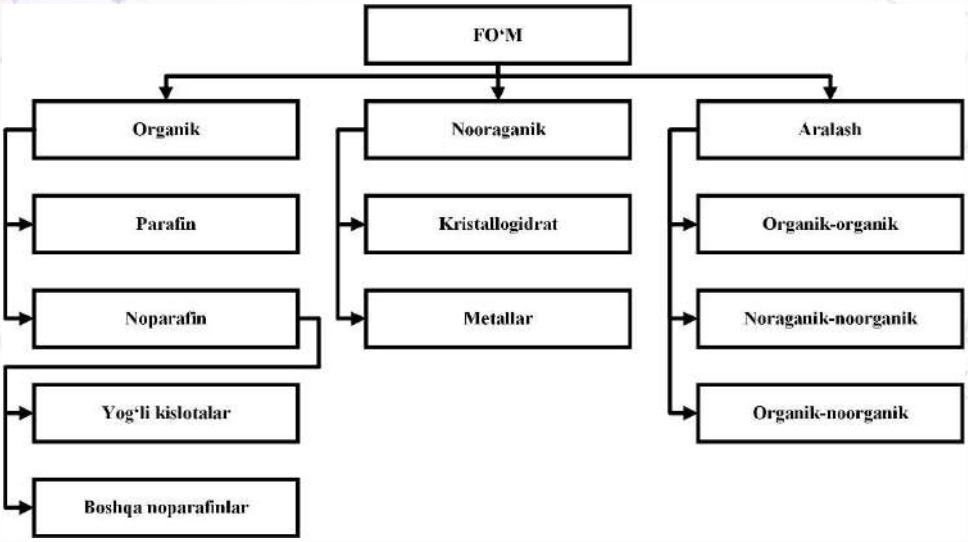
$$\frac{dt_f}{d\tau} + \frac{m}{\rho_f A_f}\frac{dt_f}{dx} = \frac{UP}{\rho_f A_f c_{p,f}}(t_s - t_f)$$

Bu yerda ρ_f, A_f, va $c_{p,f}$ mos ravshda suyuqlikning zichligi, oqim yuzasi va solishtirma issiqlik sig‘imi.

FO‘M turlari va hususiyatlari. FO‘Mlar issiqlik-fizik hususiyatlari (solishtirma erish issiqligi, zichligi, harorat kengayishi), kinetik va kimyoviy hususiyatlari (o‘ta sovib ketish, kimyoviy bardoshliyligi, boshqa materiallar bilan

ISSN 3030-3907

reaksiya kirishmasligi, zaharli moddalar ajratmasligi), iqtisodiy ko‘rsatkichlari kabi hususiyatlari mavjud. Quyida (5-rasm) ularning klassifikatsiyasi keltirilgan:



5-rasm. Faza o‘zgaruvchi moddalarning klassifikatsiyasi

Organik, noorganik hamda aralash moddalarning batafsil va to‘liq hususiyatlari borasida ma’lumotlar [12] adabiyotlarda keng yoritilgan.

Organik FO‘M

Organik FO‘Mlar kimyoviy o‘zgarishlarsiz (moddalarning ajralishi), faza o‘zgarih issiqligining degradatsiyasiz erishi va qotishi hamda korrosiv bo‘lmagani tufayli juda keng tarqalgandir. Ularning asosan ikki hil turi mavjud:

Parafinlar – asosan $CH_3 - (CH_2) - CH_3$ strukturali (zanjir) n-alkanlardan tashkil topgan. Erish va qotish haroratini zanjirni uzaytirish yoki qisqartirish orqali nazorat qilish mumkin bo‘lgan parafinlar havfsiz, nisbatan arzon, ishlash harorati diapozoni keng (5-80 C) hamda korrosiv emasligi bilan ajralib turadi [13].

Paraffin bo‘lmagan FO‘Mlar – efirlar, yog‘li kislotalar, alkogollar va glikollar yuqori erish/qotish issiqligi, past issiqlik o‘tkazuvchanlik va quyi alangalanish harorati bilan ajralib turadi [14]. Ularning issiqlik hususiyatlari, qo‘llanilish sohasi va chegarasi [15,16,17] adabiyotlarda keng yoritilgan.

Noorganik FO‘M

Asosan quyosh energetika qurilmalarida o‘z tadbiqini topgan noorganik FO‘Mlar nisbatan yuqori haroratda erishi, past haroratlarda qotib qolishi bilan foydalanishda ko‘plab murakkabliklarni keltirib chiqaradi. Shu bilan birga, erish va qatish jarayonlarining ko‘p martda takrorlanishi uning erish issiqligini o‘zgarishiga olib kelmasligi bilan ham alohida ahmiyatga ega. Ularning ikki turi mavjud: tuzlar va metllar.

Tuz gidrati. Bu kongruent, inkongruent va yarim kongruent erish usullariga tasniflanadi [13]. Ular anorganik tuzlar (AB) va n *k*mol suv qotishmalaridan iborat bo‘lib, $AB \cdot nH_2O$ umumiy formulali tipik kristall qattiq

ISSN 3030-3907

modda hosil qiladi. Ularning qattiq–suyuqlik faza o‘tishi aslida tuzning suvsizlanishi va gidratlanishi jarayonidir. Tuz gidrati odatda suvning kamroq mol miqdoriga ega bo‘lgan boshqa tuz gidratiga eriydi, ya’ni,

$$AB \cdot nH_2O \rightarrow AB \cdot mH_2O + (n-m)H_2O$$

Erish haroratida gidrat kristallari suvsiz tuz va suvga yoki suv miqdori kamroq bo‘lgan gidrat hamda suvga parchalanadi. Tuz gidratlarining asosiy muammolaridan biri inkongruent erish hodisasi bo‘lib, bu ajralib chiqqan kristallanish suvi, mavjud bo‘lgan barcha qattiq fazani eritish uchun yetarli emasligi bilan bog‘liq. Zichlik farqi tufayli quyi gidrat (yoki suvsiz tuz) idishning pastki qismiga cho‘kadi.

Tuz gidratlari issiqlikni saqlash tizimlarida o‘zining ijobiy xususiyatlari sababli keng o‘rganilgan: hajm birligiga nisbatan yuqori yashirin erish issiqligi, nisbatan yuqori issiqlik o‘tkazuvchanligi (parafinnikidan deyarli ikki barobar yuqori), past korrozivlik va plastmassalar bilan reaksiyaga kirishmasligi. Misol sifatida, Phase Change Material Product Limited (Buyuk Britaniya) kompaniyasining ayrim tuz gidratlari xususiyatlari 6-jadvalda ko‘rsatilgan [18].

Tuzlarning ba’zi kamchiliklariga inkongruent erish va ortiqcha sovish (supercooling) kiradi, bularni turli usullar bilan bartaraf etish mumkin (quyuqlashtiruvchi moddalar qo‘shish, mexanik aralashtirish, ajralishni kamaytirish uchun FO‘M ni kapsulalash va hokazo). Boshqa muammolar esa tuz gidratlarining spontanligi va razryad jarayonida suv molekulalari sonining kamayishidir. Kimyoviy moddalar qo‘shish orqali quyi tuz gidratlarining nukleatsiyasini oldini olish mumkin, bu esa suv molekulalari soni yuqori bo‘lgan dastlabki tuz gidratlariga nisbatan quyi tuz gidratlarining eruvchanligini ko‘proq oshiradi.

2-jadval

Ba’zi tuzlarning asosiy issqlik texnik ko‘rsatkichlari

Turi	Erish harorati C	Zichligi kg/m^3	Erish issiqligi kJ/kg	Erish issiqligi MJ/m3	Issiqlik sig‘imi kJ/(kgC)	Issiqlik o‘tkazuvchanligi W/(mC)
S89	89	1550	151	234	2.48	0.67
S44	44	1558	100	158	1.61	0.43
S7	7	1700	150	255	1.85	0.40

Metallar. Ushbu toifaga past erish haroratiga ega bo‘lgan metallar va ularning qotishmalari kiradi. Garchi hajm birligiga nisbatan erish yashirin issiqligi va issiqlik o‘tkazuvchanligi yuqori bo‘lsa ham ular issiqlikni saqlash tizimlarida kam qo‘llaniladi, chunki massa birligiga nisbatan erish yashirin issiqligi past bo‘ladi, [19].

ISSN 3030-3907

Bu materiallarning ayrim xususiyatlari quyidagilardan iborat:

– massa birligiga nisbatan erish issiqligining pastligi;
– hajm birligiga nisbatan erish issiqligining yuqoriligi;
– yuqori issiqlik o‘tkazuvchanligi;
– past solishtirma issiqlik sig‘imi;
– nisbatan past bug‘ bosimi.

Aralash FO‘M

Aralash materiallar — bu past erish haroratiga ega bo‘lgan ikki yoki undan ortiq moddalarning kombinatsiyasi bo‘lib, ular o‘xshash (kongruent) erish va qotish haroratlariga ega. Aralashmalar deyarli har doim ajralishsiz eriydi va qotadi hamda yuqori issiqlik o‘tkazuvchanligi va zichlikka ega bo‘ladi. Har bir moddaning massa ulushini o‘zgartirish orqali hosil bo‘lgan aralashmaning erish haroratini turlicha qilish mumkin [13]. Shu sababli ular FO‘Mlarning istiqbolli turi hisoblanadi, garchi amalda boshqa guruhlarga qaraganda kamroq tarqalgan bo‘lsa ham. Biroq, ular yashirin issiqlik va solishtirma issiqlik sig‘imi bo‘yicha past ko‘rsatkichlarga ega [20].

XULOSA.

Fizik issiqlik energiyasini saqlovchi qurilmalar maishiy tizimlar, markazlashtirilgan issiqlik ta’minoti va sanoat ehtiyojlari uchun qo‘llanilishi mumkin. Eng ommabop va tijoratda keng qo‘llaniladigan issiqlik saqlash muhiti suv bo‘lib, u turar joy va sanoat sohalarida ko‘plab qo‘llangan. Suyuqlik va qattiq muhitlarda sezgir issiqlikni yer ostida saqlash usullari ham odatda yirik ko‘lamli tizimlarda qo‘llaniladi.

Faza o‘zgaruvchi materiallar (FO‘M) faza o‘zgarishining yashirin issiqligi hisobiga ko‘proq issiqlik saqlash sig‘imini ta’minlay oladi. FO‘M lar, shuningdek, faza o‘zgarishi davomida haroratning doimiy bo‘lishi tufayli maqsadga yo‘naltirilgan issiqlik chiqarish haroratini ta’minlaydi. Erish harorati, erishning yashirin issiqligi va FO‘Mning termofizik xususiyatlari har qanday tizimlarda FO‘M tanlashga ta’sir qiluvchi uchta asosiy omillardir. Yuqori erish issiqligi hamda aniq erish/qotish harorati FO‘M tanlashdagi asosiy talablar hisoblanadi. Issiqlik uzatish tezligini oshirish maqsadida ko‘plab mexanik va nano darajadagi takomillashtirishlar amalga oshirilgan bo‘lib, bu istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi.

Adabiyotlarning aksariyati parafin kabi odatiy va tijoratlashtirilgan FO‘M materiallariga qaratilgan. Keng harorat diapazoniga ega bo‘lgan maxsus FO‘Mlarga, masalan, tuz gidratlariga e’tibor qaratish tavsiya etiladi.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. European Commission. *European Union Energy in Figures*; Statistical Pocketbook; Publications Office of the EU: Luxembourg, Luxembourg, 2016.
2. Twidell, J.; Weir, T. *Renewable Energy Resources*; Routledge: London, UK, 2015.
3. Iten, M.; Liu, S.; Shukla, A. A review on the air-PCM-TES application for free cooling and heating in the buildings. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, *61*, 175–186.
4. International Renewable Energy Agency (IRENA). *The Energy Technology Systems Analysis Programmes (ETSAP): Technology Brief E17*; International Energy Agency: Paris, France, 2013. Available online: http://www.irena.org/Publications (accessed on 8 July 2015).
5. Hauer, A. Storage Technology Issues and Opportunities, International Low-Carbon Energy Technology Platform. In Proceedings of the Strategic and Cross-Cutting Workshop "Energy Storage—Issues and Opportunities", Paris, France, 15 February 2011.
6. Kumar, A.; Shukla, S.K. A Review on Thermal Energy Storage Unit for Solar Thermal Power Plant Application. *Energy Procedia* 2015, *74*, 462–469.
7. Basecq, V.; Michaux, G.; Inard, C.; Blondeau, P. Short-term storage systems of thermal energy for buildings: A review. *Adv. Build. Energy Res.* 2013, *7*, 66–119.
8. International Energy Agency (IEA). *Energy Conservation through Energy Storage (ECES) Programme*; Brochure, International Energy Agency: Paris, France, 2016. Available online: http://www.iea-eces.org/files/090525_broschuere_eces.pdf (accessed on 10 October 2016).
9. Schumann, T.E.W. Heat transfer: A liquid flowing through a porous prism. *J.Frankl. Inst.* 1929, *208*, 405–416.
10. Nems, M.; Nems, A.; Kasperski, J.; Pomorski, M. Thermo-hydraulic analysis of heat storage filled with the ceramic bricks dedicated to the solar air heating system. *Materials* 2017, *10*, 940.
11. Tian, Y.; Zhao, C.Y. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Appl. Energy* 2013, *104*, 538–553.
12. Kasaeian, A.; Bahrami, L.; Pourfayaz, F.; Khodabandeh, E.; Yan, W.-M. Experimental studies on the applications of PCMs and nano-PCMs in buildings: A critical review. *Energy Build.* 2017, *154*, 96–112.
13. Sharma, A.; Tyagi, V.V.; Chen, C.R.; Buddhi, D. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2009, *13*, 318–345.

ISSN 3030-3907

14. Abhat, A. Development of a modular heat exchanger with integrated latent heat storage. In *Germany Ministry of Science and Technology Bonn*; Report No. BMFT FBT 81-050; Institut fuer Kemtechnik und Energiewandlung e.V.: Stuttgart, Germany, 1981.
15. Yuan, Y.; Zhang, N.; Tao, W.; Cao, X.; He, Y. Fatty acids as phase change materials: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014, *29*, 482–498.
16. Del Barrio, E.P.; Godin, A.; Duquesne, M.; Daranlot, J.; Jolly, J.; Alshaer, W.; Kouadio, T.; Sommier, A. Characterization of different sugar alcohols as phase change materials for thermal energy storage applications. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 2017, *159*, 560–569.
17. Gunasekara, S.N.; Pan, R.; Chiu, J.N.; Martin, V. Polyols as phase change materials for surplus thermal energy storage. *Appl. Energy* 2016, *162*, 1439–1452.
18. Noro, M.; Lazzarin, R.M.; Busato, F. Solar cooling and heating plants: An energy and economic analysis of liquid sensible vs. phase change material (PCM) heat storage. *Int. J. Refrig.* 2014, *39*, 104–116.
19. Ge, H.; Li, H.; Mei, S.; Liu, J. Low melting point liquid metal as a new class of phase change material: An emerging frontier in energy area. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2013, *21*, 331–346.
20. Su, W.; Darkwa, J.; Kokogiannakis, G. Review of solid–liquid phase change materials and their encapsulation technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, *48*, 373–391.

ISSN 3030-3907